SNI 06-2414-1991

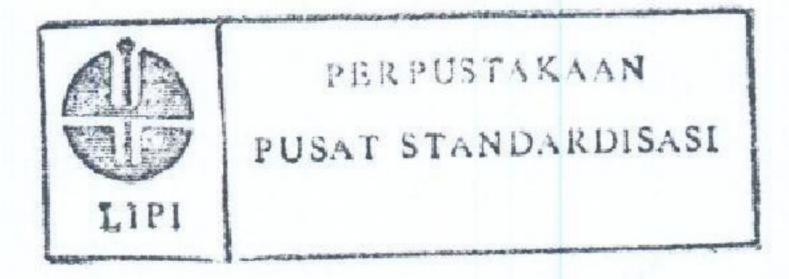
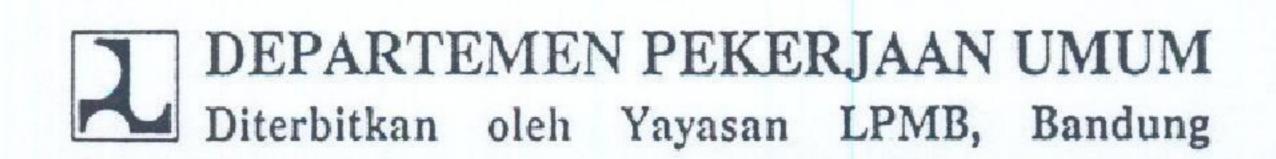
Standar Nasional Indonesia

Metode
pengukuran debit sungai dan saluran terbuka

STANDAR

SK SNI M - 17 - 1989 - F

METODE
PENGUKURAN DEBIT
SUNGAI DAN SALURAN TERBUKA

DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
Diterbitkan oleh Yayasan LPMB, Bandung

DAFTAR RUJUKAN

World Meteorological Organization,
1980 *Manual on Stream Gauging, Vol.I, Field Work*, Geneva, Switzerland.

Departemen Pekerjaan Umum,
1989 *Metode Perhitungan Debit Banjir*, Nomor : SK SNI M - 18 - 1989 - F, Yayasan LPMB, Bandung.

*

*

Diterbitkan oleh Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan
Jalan Tamansari 84, Bandung
Cetakan pertama - 1989

STANDAR

SK SNI M - 17 - 1989 - F

METODE PENGUKURAN DEBIT SUNGAI DAN SALURAN TERBUKA

DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
Diterbitkan oleh Yayasan LPMB, Bandung

REPUBLIK INDONESIA
MENTERI PEKERJAAN UMUM

KEPUTUSAN MENTERI PEKERJAAN UMUM NOMOR : 306/KPTS/1989 TENTANG PENGESAHAN 32 STANDAR KONSEP SNI BIDANG PEKERJAAN UMUM

MENTERI PEKERJAAN UMUM;

Menimbang :

a. bahwa dalam rangka menunjang pembangunan nasional dan kebijaksanaan pemerintah untuk meningkatkan pendayagunaan sumber daya manusia dan sumber daya alam, diperlukan standar-standar bidang pekerjaan umum;

b. bahwa standardisasi bidang pekerjaan umum perlu disusun berdasarkan konsensus semua pihak dengan memperhatikan syarat-syarat kesehatan dan keselamatan umum serta perkiraan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya bagi kepentingan umum;

c. bahwa sehubungan ikhwal di atas, perlu diterbitkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum tentang pengesahan 32 standar konsep SNI Bidang Pekerjaan Umum.

Mengingat :

1. Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 44 tahun 1974 tentang Pokok-pokok Organisasi Departemen;
2. Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 15 tahun 1984 tentang Susunan Organisasi Departemen;
3. Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 64/M tahun 1988 tentang Pembentukan Kabinet Pembangunan V;
4. Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 7 tahun 1989 tentang Dewan Standardisasi Nasional;
5. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 211/KPTS/1984;
6. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 217/KPTS/1986 tentang Panitia Tetap dan Panitia Kerja serta Tata Kerja Penyusunan Standar Konstruksi Bangunan Indonesia.

MEMUTUSKAN :

Menetapkan: KEPUTUSAN MENTERI PEKERJAAN UMUM TENTANG PENGESAHAN 32 STANDAR KONSEP SNI BIDANG PEKERJAAN UMUM;

diktum KE SATU, berlaku bagi unsur aparatur pemerintah bidang pekerjaan umum dan dapat digunakan dalam perjanjian kerja antar pihak-pihak yang bersangkutan dengan bidang konstruksi, sampai ditetapkan menjadi Standar Nasional Indonesia.

KE TIGA : Menugaskan kepada Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum untuk :

a. Menyebar luaskan Standar Konsep SNI Bidang Pekerjaan Umum;
b. Memberikan bimbingan teknis kepada unsur pemerintah dan unsur masyarakat bidang pekerjaan umum;
c. Mempercepat pengukuhan Standar Konsep SNI tersebut menjadi Standar Nasional Indonesia.

KE EMPAT : Menugaskan kepada para Direktur Jenderal lingkungan Departemen Pekerjaan Umum untuk:

a. Memantau penerapan Standar Konsep SNI Bidang Pekerjaan Umum;
b. Memberikan masukan atau umpan balik sebagai akibat penerapan Standar Konsep SNI tersebut kepada Menteri Pekerjaan Umum melalui Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum.

KE LIMA : Keputusan Menteri ini berlaku sejak tanggal ditetapkan.

DITETAPKAN DI : J A K A R T A.
PADA TANGGAL : 6 JULI - 1989

MENTERI PEKERJAAN UMUM,

RADINAL MOOCHTAR

LAMPIRAN :
KEPUTUSAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
NOMOR : 306/KPTS/1989
TANGGAL : 6 JULI 1989

STANDAR KONSEP SNI BIDANG PEKERJAAN UMUM :

Nomor Urut	JUDUL STANDAR :	NOMOR STANDAR
1	2	3
1.	Tata Cara Dasar Koordinasi Modular untuk Perancangan Bangunan Rumah dan Gedung.	SK SNI T - 01 - 1989 - F
2.	Tata Cara Pelaksanaan Injeksi Semen pada Batu dan Tanah.	SK SNI T - 02 - 1989 - F
3.	Tata Cara Perencanaan dan Perancangan Bangunan Kedokteran Nuklir di Rumah Sakit.	SK SNI T - 03 - 1989 - F
4.	Tata Cara Perencanaan dan Perancangan Bangunan Radiologi di Rumah Sakit.	SK SNI T - 04 - 1989 - F
5.	Tata Cara Perancangan Penerangan Alami Siang Hari untuk Rumah dan Gedung.	SK SNI T - 05 - 1989 - F
6.	Tata Cara Perancangan Rumah Sederhana Tahan Angin.	SK SNI T - 06 - 1989 - F
7.	Tata Cara Perencanaan Tangki Septik	SK SNI T - 07 - 1989 - F
8.	Tata Cara Perencanaan Bangunan MCK Umum.	SK SNI T - 08 - 1989 - F
1.	Metode Pengujian Lapangan tentang Kelulusan Air Bertekanan.	SK SNI M - 01 - 1989 - F
2.	Metode Pengambilan Contoh Kualitas Air.	SK SNI M - 02 - 1989 - F
3.	Metode Pengujian Kualitas Fisika Air.	SK SNI M - 03 - 1989 - F
4.	Metode Pengujian Berat Jenis Tanah.	SK SNI M - 04 - 1989 - F
5.	Metode Pengujian Batas Air Tanah.	SK SNI M - 05 - 1989 - F
6.	Metode Pengujian Batas Plastis.	SK SNI M - 06 - 1989 - F
7.	Metode Pengujian Batas Cair dengan Alat Cassagrande.	SK SNI M - 07 - 1989 - F
8.	Metode Pengujian tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.	SK SNI M - 08 - 1989 - F
9.	Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.	SK SNI M - 09 - 1989 - F
10	Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.	SK SNI M - 10 - 1989 - F
11.	Metode Pengujian Kadar Air Agregat.	SK SNI M - 11 - 1989 - F
12.	Metode Pengujian Slump Beton.	SK SNI M - 12 - 1989 - F
13.	Metode Pengujian Berat Isi Beton.	SK SNI M - 13 - 1989 - F

1	2	3
14.	Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.	SK SNI M - 14 - 1989 - F
15.	Metode Mempersiapkan Contoh Tanah dan Tanah Mengandung Agregat.	SK SNI M - 15 - 1989 - F
16.	Metode Koreksi untuk Pengujian Pemadatan Tanah Yang Mengandung Butir Kasar.	SK SNI M - 16 - 1989 - F
17.	Metode Pengukuran Debit Sungai dan Saluran Terbuka.	SK SNI M - 17 - 1989 - F
18.	Metode Perhitungan Debit Banjir.	SK SNI M - 18 - 1989 - F
1.	Spesifikasi Koordinasi Modular untuk Bangunan Rumah dan Gedung.	SK SNI S - 01 - 1989 - F
2.	Spesifikasi Ukuran Terpilih untuk Bangunan Rumah dan Gedung.	SK SNI S - 02 - 1989 - F
3.	Spesifikasi Matra Ruang untuk Rumah Tinggal.	SK SNI S - 03 - 1989 - F
4.	Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam).	SK SNI S - 04 - 1989 - F
5.	Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian B (Bahan Bangunan dari Logam Besi/Baja).	SK SNI S - 05 - 1989 - F
6.	Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian C (Bahan Bangunan dari Logam Bukan Besi).	SK SNI S - 06 - 1989 - F

MENTERI PEKERJAAN UMUM

RADINAL MOOCHTAR

DAFTAR ISI

BAB I

DESKRIPSI

1.1 Maksud dan Tujuan

1.1.1 Maksud

Metode pelaksanaan ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengukuran debit sungai dan saluran terbuka, yang tidak terpengaruh arus balik atau aliran lahar pada saat muka air rendah sampai tinggi, yang masih tertampung di dalam alur sungai atau saluran terbuka.

1.1.2 Tujuan

Tujuan metode pelaksanaan ini untuk memperoleh data debit yang benar dan terpercaya.

1.2 Ruang Lingkup

Metode pelaksanaan ini meliputi cara pengukuran, peralatan dan sarana penunjang serta persyaratan teknis dan nonteknis dalam pelaksanaan yang telah lazim digunakan di Indonesia.

1.3 Pengertian

Beberapa pengertian yang berkaitan dengan metode ini :

1) **pengukuran debit** adalah proses pengukuran dan perhitungan kecepatan, kedalaman dan lebar aliran serta penghitungan luas penampang basah, untuk menghitung debit di sungai dan saluran terbuka;
2) **debit sungai/saluran terbuka** adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai/ saluran terbuka persatuan waktu;
3) **tinggi muka air sungai/saluran terbuka** adalah elevasi muka air pada suatu penampang melintang sungai/saluran terbuka terhadap suatu titik elevasi tertentu;
4) **aliran air** adalah pergerakan air di alur sungai/saluran terbuka.

BAB II

PERALATAN DAN SARANA PENUNJANG

2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk mengukur debit adalah alat ukur untuk kecepatan aliran, kedalaman, lebar dan penampang basah.

2.2 Alat Ukur Kecepatan Aliran

2.2.1 Alat Ukur Arus

Alat ukur arus yang digunakan dalam metode ini terdiri dari dua jenis (lihat Gambar lampiran D) :

1) baling-baling dengan sumbu horizontal;
2) canting dengan sumbu vertikal.

Hubungan antara kecepatan aliran dan banyak putaran baling-baling per satuan waktu, dinyatakan dengan rumus kecepatan sebagai berikut :

$$v = p N + q \quad \text{......} \quad (1)$$

keterangan :

v = kecepatan aliran (m/det)
N = banyak putaran baling-baling setiap detik
p = koefisien diameter gerak maju baling-baling
q = koefisien kecepatan awal

p dan q adalah konstanta hasil kalibrasi di laboratorium hidrologi dengan menggunakan alat tera.

2.2.2 Pelampung

Pelampung yang digunakan adalah :

1) bahan yang dapat terapung di permukaan air, atau;
2) bahan yang sebagian tenggelam di bawah permukaan air.

Kecepatan aliran dapat dihitung dari jarak lintasan pelampung dibagi waktu yang diperlukan untuk menempuh lintasan tersebut.

2.2.3 Jenis Peralatan Lain

Hal ini akan dibahas pada buku Metode Peralatan Pengukuran Debit.

2.3 Alat Ukur Penampang Basah

2.3.1 Alat Ukur Lebar

Alat ukur lebar yang dapat digunakan antara lain:

1) kabel baja dengan ukuran diameter 3 - 5 mm dan panjang tertentu antara lain dengan jarak tanda satu meter, dua meter;
2) alat petunjuk lebar yang dipasang pada kabel melintang sungai;
3) meteran.

2.3.2 Alat Ukur Kedalaman

Alat ukur kedalaman yang dapat digunakan antara lain :

1) batang pengukur terbuat dari kayu atau logam yang dilengkapi dengan skala kedalaman;
2) kabel dengan pemberat, yang dilakukan dari atas perahu, jembatan atau kereta gantung;
3) alat duga kedalaman yang dapat bekerja secara elektronik.

2.4 Sarana Penunjang

2.4.1 Alat Duga Air

Alat ini digunakan untuk mengetahui elevasi muka air pada saat pengukuran debit, sehingga dapat diperoleh hubungan antara ketinggian muka air dan debit. Alat duga air yang lazim digunakan terdiri dari 2 (dua) macam yaitu : alat duga air biasa dan otomatik. Jenis-jenis alat duga air yang digunakan :

1) alat duga air biasa (PDAO), harus dibuat dan dipasang dengan mempertimbangkan ketentuan berikut :

   (1) harus dibuat dari bahan yang tahan air dan awet (kayu, enamel), dilengkapi dengan pembagian skala dan dicat dengan warna yang jelas agar mudah dibaca;
   (2) harus dipasang pada konstruksi tiang yang dipancang di tepi sungai atau saluran terbuka; pemasangannya tegak lurus atau miring dengan membentuk sudut 30^o, 45^o atau 60^o terhadap bidang horizontal; dan harus dipasang dengan kuat dan terlindung dari benturan benda keras yang terbawa oleh aliran air;
   (3) kedudukan datum meteran harus berada pada kedalaman 0,5 meter di bawah muka air terendah pada musim kemarau dan harus diikatkan terhadap titik tetap, yang sebaiknya telah diikatkan dengan triangulasi;

2) alat duga air otomatik (PDAO), yang lazim digunakan adalah :

   (1) alat duga air dengan silinder (drum) tegak;
   (2) alat duga air dengan silinder mendatar;

3) alat duga air jenis lain, diantaranya jenis gelembung gas dan jenis kertas berlubang atau pendugaan dengan sinar.

2.4.2 Perlengkapan Pengukuran Debit

Perlengkapan pengukuran debit yang biasa digunakan :

1) perahu;
2) motor tempel;
3) kabel melintang sungai;
4) kereta gantung;
5) stop watch;
6) baju pelampung;
7) papan duga khusus;
8) formulir isian perhitungan debit dan alat-alat tulis lainnya;
9) pemberat;
10) tambang plastik;
11) alat penyipat ruang;
12) alat penyipat datar.

BAB III

PERSYARATAN PENGUKURAN DEBIT

3.1 Persyaratan Teknis

3.1.1 Pemilihan Lokasi Pengukuran Debit

Dalam pemilihan lokasi ini perlu diperhatikan faktor-faktor sebagai berikut :

1) sesuai dengan perencanaan;
2) mudah dicapai dalam segala situasi dan kondisi;
3) mampu melewatkan banjir;
4) geometri dan badan sungai harus stabil;
5) adanya penampang kendali;
6) harus dipilih pada bagian alur sungai atau saluran terbuka yang lurus.

3.1.2 Pertimbangan Hidraulik

Kondisi hidraulik yang harus diperhatikan di lokasi pengukuran debit :

1) mempunyai pola aliran yang seragam dan mendekati jenis aliran sub-kritik;
2) tidak terkena pengaruh arus balik (pengempangan) dan aliran lahar.

3.1.3 Lama dan Periode Pelaksanaan

Ketentuan yang perlu diperhatikan :

1) lama pengukuran debit tergantung dari keadaan aliran pada saat pengukuran dilaksanakan :

   (1) pada saat aliran rendah pengukuran debit dilaksanakan dua kali dalam sekali periode waktu pengukuran (bolak-balik di penampang basah yang sama);
   (2) pada saat banjir pengukuran debit dilaksanakan satu kali dalam periode waktu pengukuran;

2) periode pelaksanaan pengukuran tergantung dari musim :

   (1) pada musim kemarau pengukuran debit dilaksanakan cukup sekali dalam satu bulan;
   (2) pada musim penghujan pengukuran dilaksanakan berulang kali, paling sedikit 3 kali setiap bulannya.

3.1.4 Keandalan Peralatan dan Sarana Penunjang

Peralatan dan sarana penunjang harus dipelihara agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, antara lain alat ukur arus harus dikalibrasi secara berkala, dibersihkan dan dirawat dengan baik.

BAB IV

PENGUKURAN DEBIT

4.1 Prinsip Pengukuran Debit

Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air.
Debit dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = \Sigma (a \times v) \quad \ldots\ldots (2)$$

keterangan :

Q = debit (m^3/det)
a = luas bagian penampang basah (m^2)
v = kecepatan aliran rata-rata pada luas bagian penampang basah (m/det)

4.2 Pembacaan Tinggi Muka Air

Pembacaan tinggi muka air dilaksanakan dengan membaca tinggi muka air pada alat duga air. Apabila perbedaan fluktuasi muka air pada waktu mulai dan akhir pengukuran lebih besar daripada 3 cm, maka diperlukan koreksi terhadap tinggi muka air.

4.3 Pengukuran Penampang Basah

4.3.1 Pengukuran Lebar

Pengukuran lebar dilakukan dengan menggunakan alat ukur lebar. Jenis alat ukur lebar harus disesuaikan dengan lebar penampang basah dan sarana penunjang yang tersedia.

4.3.2 Pengukuran Kedalaman

Pengukuran kedalaman dilaksanakan dengan menggunakan alat ukur kedalaman di setiap vertikal yang telah diukur jaraknya. Jarak setiap vertikal harus diusahakan serapat mungkin agar debit tiap sub bagian penampang tidak lebih dari 1/5 bagian dari debit seluruh penampang basah.
Pengukuran kedalaman dengan menggunakan kabel dan pemberat diperlukan koreksi kedalaman, apabila posisi kabel membuat sudut lebih besar daripada 5^{o} terhadap garis vertikal.

4.4 Pengukuran Kecepatan

4.4.1 Cara Mengukur Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran sungai/saluran terbuka dapat ditentukan dengan cara mengukur langsung dan atau dengan cara menghitung. Kecepatan aliran dapat diukur dengan berbagai alat, antara lain : alat ukur arus dan pelampung, atau dapat dihitung

3.2 Persyaratan Non Teknis

Persyaratan non teknis yang harus diperhatikan adalah kemampuan tim pengukurnya. Tim pengukur minimal terdiri dari tiga orang, yang mempunyai kemampuan sebagai berikut :

1) pernah mendapatkan pendidikan dan pelatihan pengukuran debit di instansi yang berwenang;
2) bertanggung jawab dan disiplin;
3) kesehatan cukup baik.

berdasarkan berbagai faktor, antara lain : faktor kekasaran, dan tinggi muka air pada penampang kendali buatan.

4.4.2 Kalibrasi Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran

Semua hasil pengukuran kecepatan aliran harus dikalibrasi dengan pengukuran debit menggunakan alat ukur arus, oleh karena ketelitian alat ukur arus dapat dikalibrasi di laboratorium.

4.5 Kecepatan Aliran Diukur

4.5.1 Kecepatan Aliran Diukur dengan Alat Ukur Arus Kecepatan aliran ini dapat dilaksanakan dengan merawas, perahu, kabel gantung melintang, jembatan dan perahu bergerak.
Kecepatan aliran rata-rata di suatu penampang basah diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan rata-rata dari beberapa vertikal.
Kecepatan aliran rata-rata di suatu vertikal diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan aliran satu titik, dua titik, tiga titik atau banyak titik, yang pelaksanaannya tergantung pada kedalaman aliran, lebar aliran dan sarana yang tersedia. Jenis cara pengukuran tersebut adalah:

1) pengukuran kecepatan aliran satu titik, dilaksanakan pada 0,6 kedalaman (d) atau 0,2 d dari permukaan air, dengan ketentuan:

   (1) pada 0,6 d, dilakukan apabila kedalaman air kurang dari 0,75 m;
   (2) pada 0,2 d, biasanya dilakukan untuk mengukur debit banjir apabila pada 0,2 d dan 0,8 d tidak dapat dilaksanakan;

2) pengukuran kecepatan aliran dua titik, dilaksanakan pada 0,2 d dan 0,8 d dari permukaan air, apabila kedalaman air lebih dari 0,75 m, dan kecepatan rata-ratanya dinyatakan dengan rumus :

$$v = \frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} \qquad (3)$$

keterangan :

v = kecepatan aliran rata-rata pada suatu vertikal (m/det)
$v_{0,2}$ = kecepatan aliran pada titik 0,2 d (m/det)
$v_{0,8}$ = kecepatan aliran pada titik 0,8 d (m/det)

3) pengukuran kecepatan aliran tiga titik, dilaksanakan pada titik 0,2 d, 0,6 d dan 0,8 d dari permukaan air, dan kecepatan aliran rata-ratanya dinyatakan dengan rumus :

$$\bar{v} = \left[\left(\frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} \right) + v_{0,6} \right] \times 1/2 \qquad (4)$$

keterangan :

v = kecepatan aliran rata-rata pada suatu vertikal (m/det)
$v_{0,2}$ = kecepatan aliran pada titik 0,2 d (m/det)
$v_{0,6}$ = kecepatan aliran pada titik 0,6 d (m/det)
$v_{0,8}$ = kecepatan aliran pada titik 0,8 d (m/det)

4) pengukuran kecepatan aliran banyak titik, dilaksanakan pada banyak titik dengan jarak antara 1/10 bagian dari kedalaman mulai dari titik 0,1 d sampai 0,9 d, dan kecepatan rata-ratanya dapat dihitung secara grafis.

4.5.2 Kecepatan Aliran Diukur dengan Pelampung

Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung hanya disarankan, apabila pengukuran kecepatan dengan alat ukur arus tidak dapat dilaksanakan. Ketentuan pelaksanaannya adalah :

1) menggunakan jenis pelampung permukaan atau pelampung yang sebagian tenggelam di dalam aliran, yang tergantung pada bahan yang tersedia dan kondisi aliran;
2) lintasan pelampung harus mudah diamati, kalau perlu diberi tanda khusus terutama untuk pengukuran debit pada malam hari;
3) pengukuran kecepatan aliran harus dipilih pada bagian alur yang lurus, dan memenuhi salah satu syarat berikut :

(1) bagian alur yang lurus paling sedikit tiga kali lebar aliran, atau
(2) lintasan pelampung pada bagian alur yang lurus paling sedikit memerlukan waktu 40 detik;

4) adanya fasilitas untuk melemparkan pelampung, (misalnya jembatan);
5) lintasan pelampung paling sedikit mencakup tiga titik dan di setiap titik lintasan paling sedikit dilakukan dua kali pengukuran;
6) kecepatan aliran dapat dihitung dengan rumus :

$$v = c \times L/t \qquad (5)$$

keterangan :

v = kecepatan aliran (m/det)
L = panjang lintasan pelampung (m)
t = waktu lintasan pelampung (det)
c = koefisien kecepatan

7) kecepatan rata-rata yang diperoleh harus dikalikan dengan suatu koefisien yang besarnya berkisar antara 0,50 - 0,98;
8) besar koefisien tersebut ditentukan dari hasil perbandingan kecepatan pelampung dengan kecepatan aliran yang diukur dengan menggunakan alat ukur arus.

4.6 Kecepatan Aliran Dihitung

Kecepatan aliran yang dihitung dapat ditentukan antara lain berdasarkan faktor kekasaran. Ikhwal yang perlu diperhatikan adalah :

1) kecepatan aliran dapat dihitung antara lain dengan persamaan Manning :

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad (6)$$

keterangan :

v = kecepatan aliran (m/det)
R = jari-jari hidraulik (m)
S = kemiringan garis energi (m/m)
n = faktor kekasaran manning

2) pelaksanaannya paling sedikit memerlukan dua buah penampang melintang pada jarak tertentu dengan kemiringan minimal 15 cm per 100 meter;
3) faktor kekasaran dapat diambil dari hasil penelitian yang telah ada;
4) kemiringan garis energi harus ditentukan berdasarkan beda tinggi muka air dan beda tinggi kecepatan, serta kehilangan energi;
5) perhitungan kecepatan dengan cara ini hanya disarankan apabila pengukuran dengan menggunakan alat ukur arus tidak dapat dilaksanakan.

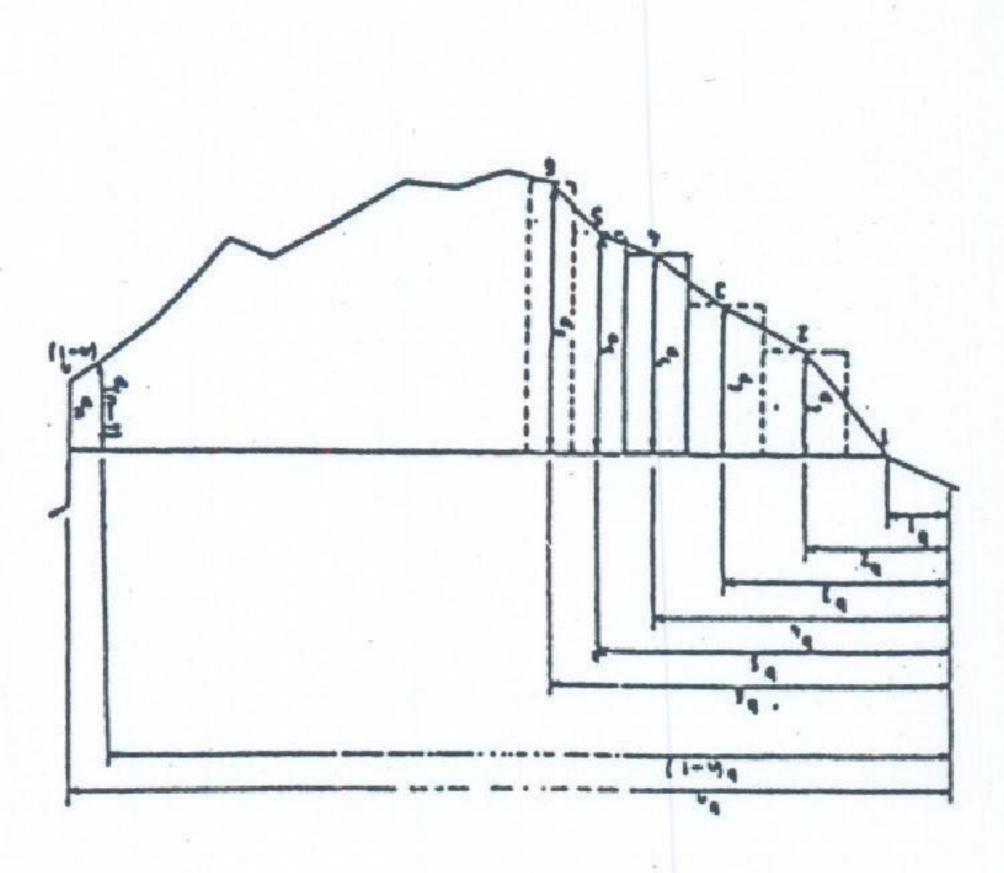
4.7 Perhitungan Debit

Perhitungan debit dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu berdasarkan :

1) kecepatan yang diukur;
2) kecepatan yang dihitung;
3) tinggi muka air pada bangunan ukur.

4.8 Perhitungan Debit Berdasarkan Kecepatan Diukur

4.8.1 Perhitungan Debit Berdasarkan Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Alat Ukur Arus

Perhitungan debit dapat dilaksanakan secara langsung, bersamaan dengan saat pengukuran luas penampang basah dan kecepatan aliran. Pada saat pengukuran, seluruh luas penampang basah dibagi menjadi beberapa bagian (lihat Gambar 1).

GAMBAR 1
PENAMPANG PENGUKURAN DEBIT

Debit pada sub bagian penampang basah dihitung dengan rumus :

$$q_x = v_x \left[\frac{b_x - b_{(x-1)} + b_{(x+1)} - b_x}{2} \right] d_x \quad \text{.........(7)}$$

$$q_x = v_x \left[\frac{b_{(x+1)} - b_{(x-1)}}{2} \right] d_x \quad \text{.........(8)}$$

keterangan :

q_x = debit pada bagian penampang x (m /det)
v_x = kecepatan aliran rata-rata pada kedalaman vertikal x (m/det)
b_x = jarak vertikal x dari titik tetap (m)
$b_{(x-1)}$ = jarak vertikal sebelum titik x dari titik tetap (m)
$b_{(x+1)}$ = jarak vertikal sesudah titik x dari titik tetap (m)
d_x = kedalaman pada vertikal x (m)

Jumlah debit dari seluruh bagian penampang basah adalah debit yang melalui penampang basah sungai atau saluran terbuka pada saat pengukuran dilaksanakan.

4.8.2 Perhitungan Debit Berdasarkan Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Pelampung

Debit dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = \sum_{1}^{x} a\,v \quad \text{.......... (9)}$$

keterangan :

Q = debit (m^3/det)
a = luas bagian penampang basah (m^2)
v = kecepatan rata-rata pada tiap bagian penampang basah (m/det)
x = jumlah bagian penampang basah.

4.9 Perhitungan Debit Berdasarkan Kecepatan Aliran Dihitung

Debit yang ditentukan berdasarkan kecepatan aliran yang dihitung hanya merupakan besaran pendekatan atau perkiraan. Hasil perhitungannya sebaiknya diperiksa dengan pengukuran debit menggunakan alat ukur arus atau alat ukur debit. Debit dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = K\,S^{1/2} \quad \text{.......... (10)}$$

$$K = \frac{1}{n} A\,R^{2/3} \quad \text{.......... (11)}$$

keterangan :

Q = debit (m^3/det)
S = kemiringan garis energi (m/m)
A = luas penampang (m^2)
R = jari-jari hidraulik (m)
n = faktor kekasaran
K = hantaran (m^3/det)

Perhitungan debit ini paling sedikit harus menggunakan data di antara dua penampang basah, sehingga rumusnya menjadi :

$$Q = [\,(K_1 \times K_2)\,]^{1/2} \times S^{1/2} \quad \text{.......... (12)}$$

keterangan :

K_1 = hantaran pada penampang hulu (m^3/det)
K_2 = hantaran pada penampang hilir (m^3/det)

4.10 Perhitungan Debit Berdasarkan Tinggi Muka Air

4.10.1 Perhitungan Debit Berdasarkan Penampang Kendali Buatan yang Hanya Menentukan Tinggi Muka Air

Persyaratan perhitungan debit yang harus diperhatikan yaitu jenis alirannya sempurna, dan koefisien debit maupun koefisien kecepatannya diketahui. Tabel debit hanya diperoleh dengan cara pengujian di laboratorium, dan kalibrasi di lapangan dengan pengukuran debit menggunakan alat ukur arus.
Jenis penampang ini yang dapat berbentuk ambang lebar, ambang tajam dan alat ukur, adalah :

1) ambang lebar yang dilengkapi dengan bagian pengendali berbentuk segi empat dan persamaan debitnya adalah :

$$Q = 2/3\, C_d\, C_v\, (2/3\, g)^{1/2}\, b\, h^{3/2} \quad \text{.......(13)}$$

keterangan :

Q = debit (m^3/det)
C_d = koefisien debit
C_v = koefisien kecepatan
g = percepatan gravitasi (m^2/det)
b = lebar mercu (m)
h = kedalaman air di hulu terhadap ambang bangunan ukur (m)

2) ambang lebar yang dilengkapi dengan bagian pengendali berbentuk trapesium dan persamaan debitnya adalah :

$$Q = C_d\, \{by + m\}^2\, \{2g(H-y)\} \quad \text{.......(14)}$$

keterangan :

H = tinggi energi hulu (m)
y = kedalaman air pada bagian pengendali (m)
m = kemiringan samping pada bagian pengendali (1 : m)

3) ambang tajam yang dilengkapi dengan bagian pengendali berbentuk segi empat dan persamaan debitnya adalah :

$$Q = 2/3\, C_v\, (2g)^{1/2}\, b\, h^{3/2} \quad \text{.......(15)}$$

4) ambang tajam yang dilengkapi dengan bagian pengendali berbentuk trapesium dan persamaan debitnya adalah :

$$Q = 2/3\, C_d\, C_v\, (2g)^{1/2}\, b\, h^{3/2} \quad \text{.......(16)}$$

5) ambang tajam yang dilengkapi dengan bagian pengendali berbentuk segitiga dan persamaan debitnya adalah :

$$Q = C_d \; H^2 \; (2gh)^{1/2} \quad \text{..........(17)}$$

untuk menentukan koefisien C_d dan C_v sangat diperlukan kalibrasi di lapangan, antara lain dengan pengukuran debit menggunakan alat ukur arus;

6) alat ukur Parshall atau saluran Venturi, yang terdiri dari :

(1) sebuah bagian peralihan penyempitan dengan lantai datar;
(2) leher dengan lantai miring ke bawah;
(3) peralihan pelebaran dengan lantai miring ke atas.

4.10.2 Perhitungan Debit Berdasarkan Penampang Kendali Buatan yang Dapat Mengatur Tinggi Muka Air

Persyaratan perhitungan debit yang harus diperhatikan yaitu jenis alirannya sempurna, dan koefisien debit maupun koefisien kecepatannya diketahui. Koefisien tersebut harus dikalibrasi di lapangan dengan mengukur debit menggunakan alat ukur arus.

Penampang kendali ini dapat mengatur tinggi muka air, sehingga dapat berfungsi sebagai alat pengatur debit. Jenis penampang yang dapat digunakan antara lain berbentuk :

1) balok sekat, terbuat dari balok-balok profil segi empat, yang ditempatkan tegak lurus terhadap potongan segi empat saluran, dan persamaan debitnya adalah :

$$Q = 2/3 \, C_d \; C_v \; (2/3 \, g)^{1/2} \;\; b \, h^{3/2} \quad \text{..........(18)}$$

keterangan :

Q = debit (m^3/det)
C_d = koefisien debit
C_v = koefisien kecepatan
g = percepatan gravitasi (m^2/det)
b = lebar normal (m)
h = kedalaman air di atas balok sekat (m)

2) pintu sorong dan pintu radial, yang dapat berfungsi untuk mengukur sekaligus mengatur debit aliran bawah, dan persamaan debitnya adalah :

$$Q = k \, C_d \; a \, b \, (2gh)^{1/2} \quad \text{..........(19)}$$

keterangan :

Q = debit (m^3/det)
k = faktor aliran tenggelam
C_d = koefisien debit
a = tinggi bukaan pintu (m)
b = lebar bukaan pintu (m)
g = percepatan gravitasi (m^2/det)
h = kedalaman air di depan pintu di atas ambang (m)

LAMPIRAN A

DAFTAR NAMA DAN LEMBAGA

1) **Pemrakarsa**

Pusat Litbang Pengairan, Badan Litbang Pekerjaan Umum

2) **Penyusun**

NAMA	LEMBAGA
Ir. Carlina Soetjiono, Dip.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Sampudjo Komarawinata,M.Eng	Pusat Litbang Pengairan
Drs. Soewarno	Pusat Litbang Pengairan
Drs. Oka Antara	Pusat Litbang Pengairan

3) **Susunan Panitia Tetap SKBI**

JABATAN	EX-OFFICIO	NAMA
Ketua	Kepala Badan Litbang P.U.	(1) Ir. Karman Somawidjaja (s.d. 1989) (2) Ir. Suryatin Sastromijoyo (mulai 1989)
Sekretaris	Sekretaris Badan Litbang P.U.	Dr. Ir. Bambang Soemitroadi
Anggota	Kepala Pusat Litbang Pengairan	Ir. Soelastri Djennoedin
Anggota	Kepala Pusat Litbang Jalan	Ir. Soedarmanto Darmonegoro
Anggota	Kepala Pusat Litbang Pemukiman	Ir. Sahat Mulia Ritonga
Anggota	Sekretaris Direktorat Jenderal Air	Ir. Mamad Ismail
Anggota	Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga	Ir. Satrio
Anggota	Sekretaris Direktorat Jenderal Cipta Karya	(1) Soelistijo Tjitrohamidjojo B.A.E. (s.d. 1989) (2) Ir. Soeratmo Notodipoero (mulai 1989)
Anggota	Kepala Biro Bina Sarana Perusahaan	(1) Ir. Wonargo Martowirono (s.d. 1989) (2) Ir. Nuzwar Nurdin (mulai 1989)
Anggota	Kepala Biro Hukum	(1) Soediro, S.H. (s.d. 1989) (2) Ali Muhammad, S.H. (mulai 1989)

4) **Susunan Panitia Kerja SKBI**

JABATAN	NAMA	LEMBAGA
Ketua/Anggota	Ir. Soenarno, M.Sc.	Direktorat Irigasi I
Sekretaris/	Ir. Soelastri Djennoedin	Pusat Litbang Pengairan
Anggota	Ir. Supardijono	Pusat Litbang Pengairan
Anggota	Ir. Carlina Soetjiono, Dipl.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Anggota	Moch. Memed, Dipl.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Anggota	Ir. Joesron Loebis, M.Eng.	Pusat Litbang Pengairan
Anggota	Sampudjo Komarawinata,M.Eng.	Pusat Litbang Pengairan
Anggota	Soekrasno, Dipl.H.E.	Direktorat Irigasi I
Anggota	David Solaiman	Direktorat Irigasi II
Anggota	Ir. Djoko Kirmanto,Dipl.H.E.	Sekretariat Direktorat Jenderal Pengairan
Anggota	Ir. Edi Paminto, M. Eng.	Sekretariat Direktorat Jenderal Pengairan
Anggota	Ir. Martono Martodiputro	Institut Teknologi Bandung
Anggota	Ir. Radhi Sinaro, Dip.H.E.	Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia
Anggota	Ir. Rismantoyo	Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

5) **Peserta Pra Konsensus**

NAMA	LEMBAGA
Ir. Soelastri Djennoedin	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Supardijono	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Carlina Soetjiono, Dip.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Joesron Loebis, M.Eng.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Sampudjo Komarawinata, M.Eng	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Moch. Memed, Dipl.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Martono Martodiputro	Institut Teknologi Bandung
Ir. David Solaiman	Direktorat Irigasi II
Ir. Djoko Kirmanto, Dipl.H.E.	Sekretariat Direktorat Jenderal Pengairan
Ir. Edi Paminto, M.Eng.	Sekretariat Direktorat Jenderal Pengairan
Ir. Rismantoyo	Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia
Ir. Radhi Sinaro, Dipl.H.E.	Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia
Ir. Endang Ariani, Dipl.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Drs. Oka Antara	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Maman Nugraha	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Sarwan	Pusat Litbang Pengairan
Epep Kosima, B.E.	Pusat Litbang Pengairan
Edi Sugianto, B.E.	Pusat Litbang Pengairan

6) **Peserta Konsensus**

NAMA	LEMBAGA
Ir. Soelastri Djennoedin	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Supardijono	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Carlina Soetjiono, Dip. H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Moch. Memed, Dipl.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Sampudjo Komarawinata, M.Eng.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Sunadji	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Ibnu Kasiro, Dipl. H.E	Pusat Litbang Pengairan
Djoko Sasongko, M.Sc.	Direktorat Sungai
Ir. Soedarwoto	Universitas Katolik Parahyangan
Ir. Radhi Sinaro, Dip. H.E.	Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia
Ir. Harjono	PT. Yodya Karya
Ir. P.J. Wusanahardja,Dipl.H.E.	Progasi Cirebon
Ir. Soekrasno, Dipl.H.E.	Direktorat Irigasi I
Ir. Mardjono Notodihardjo	PT. Bina Karya
Ir. Suweko Wirayasudarma	Institut Teknologi Bandung
Ir. Martono Martodiputro	Institut Teknologi Bandung
Doddy Oskandar, M.Eng.	Kantor Wilayah P.U. Jawa Barat
Ir. Djudju Sadeli, Dipl.H.E	Pendidikan Pasca Sarjana Teknik Pengairan
Ir. Ronny Trianggono	PT. Virama Karya
Ir. Endang Ariani, Dipl. H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Drs. Oka Antara	Pusat Litbang Pengairan
Drs. Soewarno	Pusat Litbang Pengairan
Dra. Cony	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Maman Nugraha	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Sarwan	Pusat Litbang Pengairan
Epep Kosima, B.E.	Pusat Litbang Pengairan

7) **Peserta Pemutakhiran Konsep**

Ir. Soelastri Djennoedin	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Soedarmanto Darmonegoro	Pusat Litbang Jalan
Djoko Sasonggo, M.Sc	Direktorat Jenderal Pengairan
Ir. Moh. Djihad, Dip. H.E.	Direktorat Jenderal Cipta Karya
Ir. Purwanto	Direktorat Jenderal Cipta Karya
Ir. Siti Widyastuti	Biro Bina Sarana Perusahaan
Oeripto, S.H.	Biro Hukum
Drs. Muhd. Muhtadi	Sekretariat Badan Litbang P.U.
Ir. Boetje Sinay	Sekretariat Badan Litbang P.U.
Dr. Ir. Djamester Simarmata	Sekretariat Badan Litbang P.U.
Ir. Rahim S.	Sekretariat Badan Litbang P.U.
Ir. Lolly M.	Sekretariat Badan Litbang P.U.
Ir. Supardijono	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Carlina Soetjiono, Dip.H.E.	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Sampudjo Komarawinata, M.Eng.	Pusat Litbang Pengairan
Drs. Oka Antara	Pusat Litbang Pengairan
Ir. Gundhi Marwati	Pusat Litbang Pemukiman
Ir. A. Kartahardja	Pusat Litbang Pemukiman

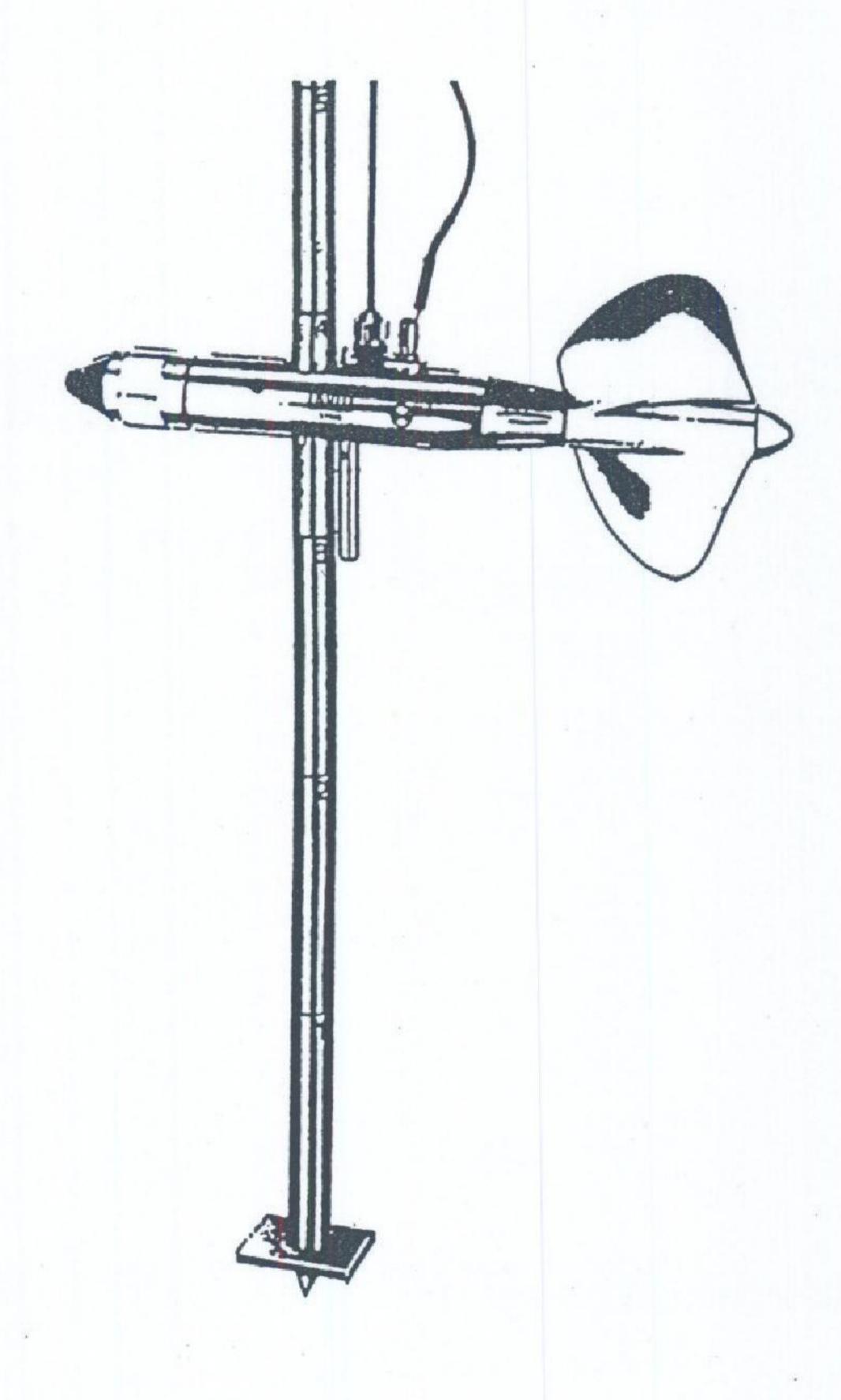
LAMPIRAN B

DAFTAR ISTILAH

alat ukur arus	:	*current meter*, alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan arus air
alat duga air	:	*stream gauge*, alat untuk mengukur ketinggian muka air
alat duga air biasa	:	*staff gauge*, alat duga air yang pengukurannya secara manual
alat duga air otomatik	:	*automatic water level recorder*, alat duga air yang pengukurannya secara otomatik
aliran seragam	:	*uniform flow*, aliran air yang kecepatan rata-ratanya sama di setiap penampang basah
arus balik	:	arus air yang berlawanan arah dari arah aliran sehingga mengakibatkan peninggian muka air
hantaran	:	*conveyance*, kapasitas tampung alur sungai
kecepatan aliran	:	*flow velocity*, laju aliran air untuk menempuh lintasan air pada waktu tertentu
merawas	:	pengukuran debit menggunakan alat ukur arus yang dilakukan oleh team pengukur dengan cara turun langsung menyebeberangi penampang basah
pelampung	:	*float*, alat yang dibuat dari bambu atau bahan lainnya yang dapat mengapung di permukaan air dan digunakan untuk mengukur kecepatan aliran
PDAB	:	pos duga air biasa
PDAO	:	pos duga air otomatik
tinggi muka air	:	*water level*, ketinggian muka air dari permukaan laut atau dari titik datum tertentu yang telah ditentukan ketinggiannya
vertikal	:	garis kedalaman pengukuran debit untuk menentukan titik pengukuran kecepatan aliran di suatu penampang basah

LAMPIRAN C

DAFTAR NOTASI

a	=	luas bagian penampang basah (m^2)
A	=	luas penampang basah (m^2)
b	=	lebar (m)
b_x	=	kedalaman vertikal x (m)
c	=	koefisien pelampung
c_d	=	koefisien debit
c_v	=	koefisien kecepatan
d_x	=	kedalaman vertikal x (m)
g	=	percepatan gravitasi (m^2/det)
h	=	kedalaman air (m)
H	=	tinggi energi hulu (m)
k	=	faktor aliran tenggelam
K	=	hantaran (m^3/det)
L	=	panjang lintasan pelampung (m)
m	=	kemiringan samping pada bagian pengendali (1 : m)
n	=	faktor kekasaran manning
N	=	banyak putaran baling-baling setiap detik
p	=	koefisien diameter gerak maju baling-baling
Q	=	debit (m^3/det)
R	=	jari-jari hidraulik (m)
S	=	kemiringan garis energi (m/m)
t	=	waktu lintasan pelampung (det)
v	=	kecepatan aliran (m/det)
$\bar{v}$	=	kecepatan aliran rata-rata (m/det)
w	=	bukaan pintu (m)
y	=	kedalaman air pada bagian pengendali (m)

GAMBAR 2
JENIS ALAT UKUR ARUS